

## Analýza pohybu karoserie vozidla Toyota Yaris při jeho intenzivním brzdění

Analysis of Dynamic Movements of Toyota Yaris Vehicle Body During  
Intensive Braking

**ABSTRAKT:** Článek se zabývá analýzou pohybu karosérie vozidel při jejich intenzivním brzdění pomocí speciální univerzální měřicí soustavy. Měřicí soustava kontinuálně snímá vzdálenost daných bodů vozidla od vozovky. Pro účely tohoto článku byly naměřeny hodnoty od vozidel značky Toyota Yaris. Vyhodnocená data byla analyzována a vložena do názorného grafu závislosti změny výšky příďe, resp. zádě vozidla na daném brzděném zpomalení. Z grafu lze odečíst maximální možné hodnoty pohybu karosérie tohoto vozidla při daném zpomalení. Hodnoty jsou využitelné např. pro analýzu korespondence poškození brzděných vozidel při řešení pojistného podvodu.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** pohyb karoserie, brzdění vozidla, zpomalení, bezpečnost posádky, měřicí soustava

**ABSTRACT:** The article analyses the movement of body vehicle during intensive braking by a special universal measuring system. The measuring system continuously measures the distance between the vehicle and the road. For the purposes of this article were measured values from the vehicle Toyota Yaris. Evaluated data were analysed and displayed in a graph of changes in the height of the front respectively rear of the vehicle on the brake deceleration. The graph is created by determining the maximum values of movement of the vehicle body at a certain vehicle's deceleration.

**KEYWORDS:** movement of body vehicle, braking, deceleration, safety of the vehicle crew, measuring system

### 1. ÚVOD

V rámci specifického výzkumu na Ústavu soudního inženýrství Vysokého učení technického v Brně byla vyvinuta měřicí soustava, používaná k analýze pohybů karoserie vozidel při extrémních jízdních manévrech. Pomocí této měřicí soustavy lze získat data relativního pohybu karoserie vozidla vůči vozovce při extrémních jízdních manévrech. Pro případ tohoto článku je za extrémní jízdní manévra považováno intenzivní brzdění vozidla. [1]

Určitý pohyb karoserie vozidla v každodenním silničním provozu, jako např. reakce vozidla na nerovnost vozovky, je běžná a žádoucí. Velikost klonění karoserie vozidla při jeho brzdění a rozjezdu závisí především na velikosti setrvačné síly, působící na odpruženou část vozidla, na výšce těžiště a s tím související zatížení vozidla, na aktuálním nastavení a opotřebením tlumičů a pružic soustavy, případně také na typu použitého zavěšení kol. Lze tedy říci, že při návrhu vozidla určité komfortní třídy se hledá kompromis v nastavení podvozku mezi ekonomikou provozu vozidla, bezpečností posádky a jejich pohodlím, projevující se především při jízdě po nekvalitní vozovce.

Při jízdě v silničním provozu se často vyskytují situace, na které musí řidič včas a vhodným způsobem reagovat, aby předešel

dopravní nehodě. V mnoha případech jsou tyto situace zapříčiněny rychlou jízdou, nepozorností řidiče nebo jiného účastníka silničního provozu. Řidič zpravidla bezvýhradně spoléhá na své schopnosti, ale většinou, vlivem neúměrného komfortu vozidla, své schopnosti a vlastnosti svého vozidla přeceňuje. V dnešní době je již většina nových vozidel vybavena prvky aktivní bezpečnosti, které podporují schopnosti řidiče předcházet dopravním nehodám. Přesto jsou dopravní nehody většího či menšího rozsahu na každodenním pořádku.

Za dopravní nehodu menšího rozsahu lze v ČR považovat takovou událost, kdy škoda na jednom vozidle nepřevyší částku 100 000,— Kč a současně při nehodě nedojde ke zranění nebo usmrcení osoby. V těchto případech lze v ČR, pokud nedojde ke škodě na majetku třetí osoby, řešit dopravní nehodu bez účasti Policie ČR. Stačí pouze sepsat společný záznam o dopravní nehodě, který účastníci podepíší a neprodleně předají pojistiteli. Při těchto nehodách dochází pouze k poškození vozidel, škodné události dále řeší příslušné pojišťovny. Zde může docházet k výskytu různých typů pojistných podvodů, kdy chybí patřičná dokumentace dopravní nehody.

Příkladem je situace, kdy dojde k předozadnímu střetu dvou velikostně odlišných vozidel v malé rychlosti při intenzivním brzdění obou vozidel, např. před přechodem pro chodce, při popojíždění

Dodáno autory do redakce 16. 1. 2016. • Recenzní řízení od 16. 1. 2016 do 8. 12. 2016.

Ing. et Ing. Martin Kunovský, Purkyňova 464/118, 61200, Brno, Česká republika, e-mail: martin.kunovsky@usi.vutbr.cz  
Ing. Marek Semela, Ph.D., Purkyňova 464/118, 61200, Brno, Česká republika, e-mail: marek.semela@usi.vutbr.cz

v koloně nebo na křižovatce před světelně signalizačním zařízením („semaforem“). V důsledku tohoto brzdění se karoserie obou vozidel, pokud nejsou vozidla vybavena adaptivním tlumícím systémem, nakloní vpřed a mohou se střetnout v oblastech mimo zpevněné nosníkové části. U tohoto typu dopravních nehod vznikají větší škody na vozidlech při malých rychlostech, pojišťovny se zdráhají vyplácet plně odškodné a hledají jiný způsob zavinění.

## 2. VELIKOST MAXIMÁLNÍHO ZPOMALENÍ V PŘÍMÉ JÍZDĚ

Moderní vozidla jsou vybavena prvky aktivní bezpečnosti, jako jsou kromě jiného i různé brzdové asistenty. Ty zlepšují brzdň schopnosti vozidla, často zvyšují velikost brzdňho zpomalení, zkracují dobu náběhu brzd a udržují zpomalení na hranici adheze. Vozidlo běžně vyvine největší brzdň účinek při přibližně 15 % až 20 % skluzu pneumatik. Omezení maximálně dosaženého zpomalení na vodorovně vozovce se řídí následujícím vztahem [2]:

$$a_{\max} \leq g \cdot \mu, \quad (1)$$

kde:

$a_{\max}$	dosažené maximální brzdň zpomalení [ $\text{m/s}^2$ ],
$g$	gravitační zrychlení $9,81 \text{ m/s}^2$ ,
$\mu$	okamžitá velikost součinitele adheze [–].

Okamžitá velikost součinitele adheze  $\mu$  mezi pneumatikou a vozovkou závisí především na faktorech jako jsou jakost a aktuální stav pneumatik, jakost a stav vozovky, konstrukce a stav brzdň soustavy vozidla, na rychlosti jízdy a na velikosti skluzu kola. Ze vzorce (1) také vyplývá, že velikost maximálního zpomalení nezávisí na hmotnosti brzdňho vozidla. [2]

### 2.1 Maximální brzdň zpomalení a průměrné brzdň zpomalení

Během jízdních zkoušek vozidla Toyota Yaris, při intenzivním brzdění v přímém směru jízdy vozidla, bylo dosaženo **maximálního** krátkodobého podélného zpomalení v hodnotě až  $-11,8 \text{ m/s}^2$ , jak lze

pozorovat na obr. 1. Ten znázorňuje graf závislosti zrychlení vozidla na čase měření. Lze pozorovat, že vozidlo se rozjelo cca před čtvrtou sekundou měření, řidič dále přeřadil na vyšší rychlostní stupeň v čase cca 5,3 s, 8,1 s a 11,1 s. V čase 18,2 s vozidlo započalo intenzivně brzdit, přičemž dosáhlo maximálního zpomalení až  $-11,8 \text{ m/s}^2$ . Lokální minimum vyskytující se mezi 18,5 s a 19,5 s může být způsobeno nestálým tlakem řidiče na brzdň pedál, případně vlivem a stavem pružení či tlumení. V čase 20,1 s následuje zpětný zákmit vozidla po jeho zastavení, způsobený především přetížením pružící soustavy předních kol během intenzivního brzdění, a následně ustálení vozidla. Měření bylo realizováno za pomoci dvouosého akcelerometru ADXL 203 umístěného na čelním skle vozidla.

Pro stanovení průměrné hodnoty zpomalení vozidla je možno běžně použít více způsobů.

- Teoretický vztah pro rovnoměrně zpomalený pohyb je dán vztahem:

$$a = \frac{|\Delta v|}{\Delta t} \text{ [m/s}^2\text{]}, \quad (2)$$

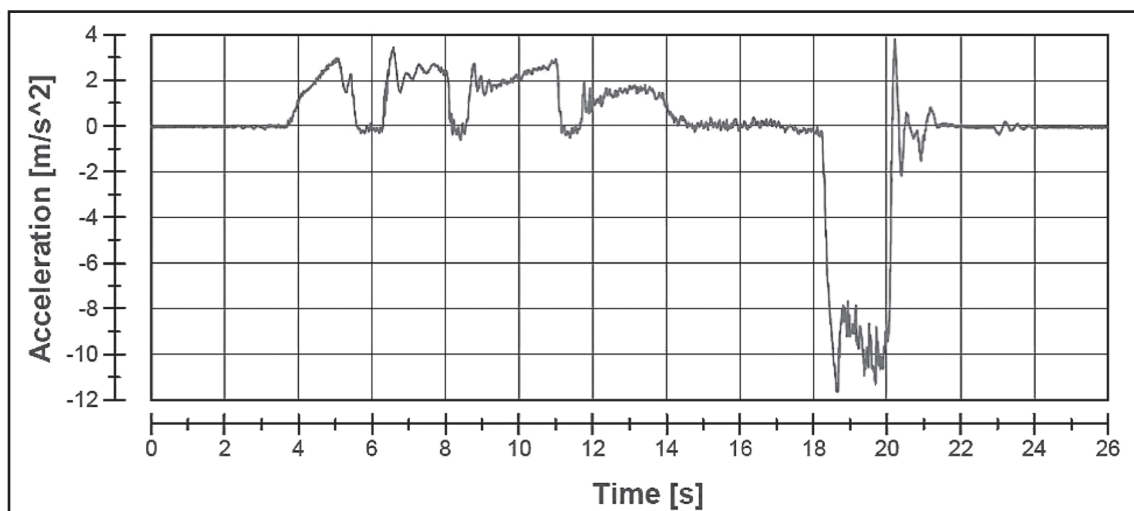
kde:

$a$	zrychlení vozidla,
$\Delta v$	změna rychlosti,
$\Delta t$	změna času.

S teoretickými vztahy pak lze vyhodnocovat data získaná různými měřicími metodami, jako jsou např. metoda pátého kola, či vyhodnocení dat ze stanice GPS s využitím druhé derivace polohy podle času – viz

$$\frac{d^2x}{dt^2}.$$

- Přímým stanovením hodnot za pomoci měřicího zařízení pro analýzu zpomalení vozidel, jako je např. XL-Meter od firmy Inventure Automotive Electronics Inc., který automaticky vyhodnotí průměrné zpomalení vozidla. XL-Meter pracuje s tzv. MFDD hodnotou středního plného brzdňho zpomalení, definovanou dle Evropských homologačních předpisů ECE 143 a ECE 71/320 dle vztahu [3]:



Obr. 1 Velikost maximálního dosaženého zpomalení vozidla Toyota Yaris.  
Figure 1 The maximum size attained deceleration of the vehicle Toyota Yaris.

$$MFDD = \frac{v_B^2 - v_A^2}{25,92 \cdot (S_B - S_A)}, \quad (3)$$

kde:

$$v_B = 0,8 \text{ v},$$

$$v_A = 0,1 \text{ v},$$

$$S_B - S_A \text{ je vzdálenost projetá při brzdění z rychlosti } v_B \text{ do rychlosti } v_A.$$

Pro účely tohoto článku bylo měřeno aktuální zpomalení vozidel pomocí dvouosého akcelerometru ADXL 203, umístěného na čelním skle vozidla. Z naměřených hodnot zpomalení byly následně odstraněny části náběhové a doběhové fáze. Průměrné zpomalení daného vozidla bylo získáno aritmetickým průměrem hodnot mezi náběhovou a doběhovou fází zpomalení.

### 3. ANALÝZA POHYBU KAROSERIE VOZIDLA PŘI INTENZIVNÍM BRZDĚNÍ

#### 3.1 Úvodem

Jak již bylo zmíněno, určitý pohyb karoserie vozidla je žádoucí, protože konstrukce vozidla touto formou zmírňuje přenášené rázy a chvění, vyvolané např. nerovností vozovky, na posádku vozidla.

Při analýze korespondence poškození vozidel po dopravní nehodě mohou být hodnoty možných rozmezí pohybů karoserie daného typu vozidla jedinečným vodítkem k odhalení a následnému prokázání pojistného podvodu. Přesné hodnoty možných rozmezí pohybů karoserií jednotlivých typů vozidel přitom nejsou veřejně známy.

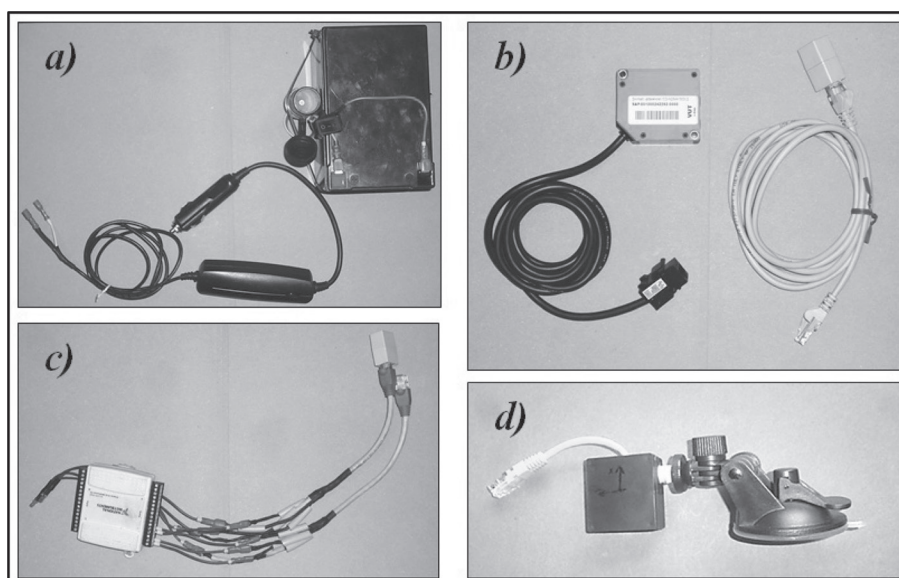
Získaná data mohou být použita jako nástroj pro soudní znalce a mohou dopomoci odhalit určitý typ pojistných podvodů, tím pak podpořit obhajobu znalecké činnosti v řízeních konaných před soudy. Zejména se jedná o případy, kdy při analýze dopravní nehody výškově nekorespondují zanechané stopy na vozidlech.

Na tuto problematiku není žádná ucelená metodika jak postupovat. Proto bylo na Ústavu soudního inženýrství VUT v Brně vyvinuto měřicí zařízení, pomocí kterého je možno přesně analyzovat pohyb karoserie vozidel při jízdních manévrech.

#### 3.2 Měřicí zařízení

Měřicí soustava obsahovala následující snímací komponenty (obr. 2):

- Dva analogové laserové snímače vzdálenosti od společnosti SICK typu OD2-N250W150U2. Snímače snímají aktuální vzdálenost od vozovky v rozmezí 100 až 400 mm s frekvencí až 1,3 kHz a s přesností až 0,22 mm. Snímače byly napájeny stejnosměrným napětím v rozmezí 18 až 24 V [4]. Napájení těchto snímačů bylo realizováno formou stejnosměrného transformátoru 12 V / 19 V. Transformátor bylo možno napájet jak z přenosné 12 V baterie, tak i z elektrické palubní 12 V sítě měřeného vozidla. To činí měřicí zařízení univerzálním a nezávislým na el. palubní síti vozidla. Transformátor také vyrovnává nežádoucí elektrické výkyvy v palubní síti vozidla.
- Dvouosý akcelerometr ADXL 203. Měřicí rozsah akcelerometru byl  $\pm 1,7 \text{ g}$ , napájecí napětí 5 V a jeho citlivost byla 1000 mV/g.
- GPS stanici RACE LOGIC pro stanovení rychlosti vozidla před jeho brzděním.
- Multifunkční datovou kartu NI USB-6009. Prostřednictvím této datové karty byla měřená data z různých senzorů přenášena pomocí USB portu do notebooku a zobrazována v programu SignalExpres od společnosti National Instrument. Získaná data byla uložena do formátu TDMS. S tímto formátem dokáží dále pracovat různé programy nejen od společnosti National Instruments, např. DIAdem, ale také Microsoft Excel či jiný tabulkový procesor.



Obr. 2 a) 12V baterie, transformátor 12/19V, konektor autozapalovače; b) laserový snímač vzdálenosti OD2-N250W150U2, datový kabel s konektory RJ45; c) multifunkční datová karta USB-6009; d) Akcelerometr ADXL 203.

Figure 2 a) Battery, transformer 12/19V, car lighter socket; b) Short range distance sensors OD2-N250W150U2, data cable with RJ45 terminations; c) National Instruments USB-6009 multifunction I/O device; d) Acceleration ADXL 203.



Obr. 3 Uchycení měřicí soustavy na vozidlo.  
Figure 3 Attachment of the measurement system on the vehicle.

Laserové snímače vzdálenosti jsou upevněny do speciálních univerzálních úchytných rámečků umístěných v rámečku registrační značky vozidla, viz obr. 3. Tyto úchyty jsou univerzální v tom, že je lze jednoduše a rychle umístit na většinu běžně používaných vozidel, aniž by docházelo k jejich poškození. Laserové snímače vzdálenosti jsou umístěny přibližně do podélné osy vozidla, což minimalizuje vliv bočního klopení vozidla při jízdě. Snímače lze v tomto uchycení výškově i směrově ustavit tak, aby snímaly požadovanou vzdálenost kolmou k vozovce.

### 3.3 Vozidla

Pro účely tohoto článku bylo analyzováno klonění karoserie malých vozidel při intenzivním brzdění. Byla měřena vozidla značky Toyota Yaris, viz obr. 4. Dvě ze tří vozidel jsou poháněna dieslovým motorem o obsahu 1 364 cm<sup>3</sup>. Tato vozidla mají také větší hmotnost. Všechna testovaná vozidla obsahují stejné typy předního a zadního zavěšení kol. Lze tedy předpokládat, že u zmíněných vozidel bude charakter pohybů jejich karoserie velmi podobný.

Každé vozidlo bylo osazeno soustavou pro měření pohybu karoserie. S těmito vozidly byly provedeny brzděné zkoušky

z různých rychlostí při různých zpomaleních. Získaná data jednotlivých brzděných zkoušek byla analyzována vzhledem k velikosti brzděného zpomalení. Při analýze dat byla také provedena korekce prodloužení naměřené vzdálenosti snímače od vozovky, projevující se při naklonění karoserie vozidla.

## 4. VYHODNOCENÍ

Z vyhodnocených dat brzděných zkoušek byl vytvořen graf uvedený na obr. 5. Tento graf znázorňuje závislost velikosti snížení přední (resp. navýšení zadní) části vozidla od statické polohy tohoto vozidla na průměrné velikosti brzděného zpomalení. Graf obsahuje data z měření tří vozidel, označených jako voz. 1 až voz. 3. Velikost snížení přední části daného vozidla je označena jako  $\Delta P$ . Velikost zvýšení zadní části daného vozidla je označena jako  $\Delta Z$ . Pro lepší názornost je všemi hodnotami  $\Delta P$  a  $\Delta Z$  proložena přímka znázorňující lineární regresi. Z této přímky je patrný střední průběh závislosti změny polohy karoserie vozidla na velikosti brzděného zpomalení.



Obr. 4 Použitá vozidla Toyota Yaris – zleva: vozidlo 1, vozidlo 2, vozidlo 3.  
Figure 4 Used vehicles Toyota Yaris. Vehicles are numbered from the left – first, second, third.



## 5. ZÁVĚR

Z grafu na obr. 5 je patrné, že při zvyšujícím se brzděném zpomalení vozidla se zvětšuje klonění karoserie vozidla naznačeným způsobem.

Se zvyšujícím se intenzitou brzdění vozidel lze pozorovat, že nárůst klonění jejich přední části není tak výrazný, jako je tomu u pohybu zadní části. Při průměrném brzděném zpomalení cca  $10 \text{ m/s}^2$  se sníží před vozidla cca o 60 mm. Pohyb zadní části vozidla proti pohybu přední části vykazuje přibližně o dvě třetiny větší změnu polohy, tj. při zpomalení cca  $10 \text{ m/s}^2$  se zadní část vozidla zvýší o cca 100 mm.

Velikost klonění karosérie vozidla ovlivňuje spousta faktorů. Ovšem podobné technické specifikace, jako má vozidlo Toyota Yaris, mají také následující vozidla: Citroen C3, Fiat Grande Punto, Ford Fiesta, Mazda 2, nebo Škoda Fabia. U těchto typů vozidel lze předpokládat velmi podobný charakter pohybu karoserie jako u vozidla Toyota Yaris.

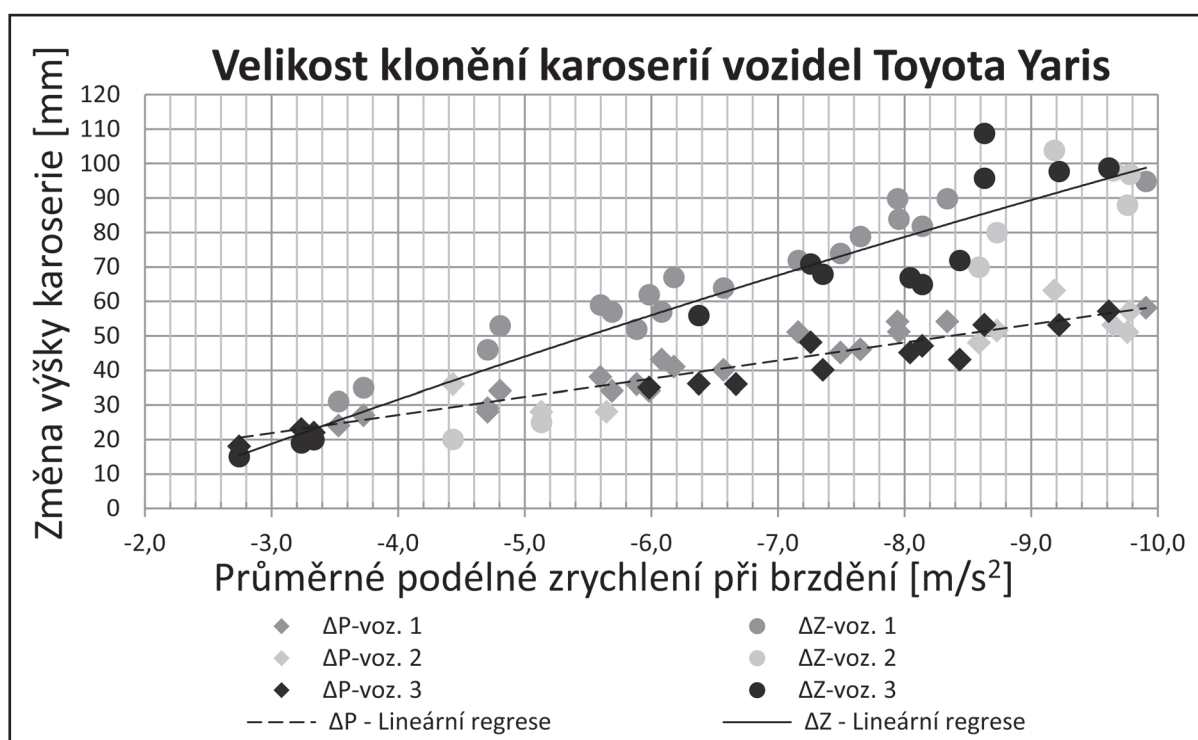
Hodnoty změny polohy karoserie vozidel při jejich brzdění nejsou v této podobě nikde veřejně publikovány. Takto publikované hodnoty mohou podpořit znaleckou činnost v řízeních konaných před soudy, a to jak při odhalování a prokazování určitého typu pojistného podvodu, tak i pro přesnou analýzu korespondence poškození vozidel a obecnou analýzu dopravních nehod.

V dalších článcích budou autory publikovány naměřené hodnoty pohybů karosérií různých vozidel nejen v podélném směru při

intenzivním brzdění, ale také v příčném směru např. při dynamickém příčném přemístění, při kruhové zkoušce apod.

## 6. LITERATURA

- [1] KUNOVSKÝ M., SEMELA M., SVOZIL M.: Analysis of dynamic movement of vehicle body and its effects to vehicle crew using monitoring and measuring system. In: *Proceedings of International Scientific Conference „MODERN SAFETY TECHNOLOGIES IN TRANSPORTATION – MOSATT 2015“*. PERPETIS, s.r.o., Košice, Slovakia, 2015, s. 113–118. ISBN 978-80-971432-2- 0, ISSN 1338-5232
- [2] BRADÁČ A.: *Soudní inženýrství*. Akademické nakladatelství CERM, Brno, 1997, 719 s. ISBN 80-7204-057-X
- [3] CIEPKA P., REZA A.: Zpomalení automobilů a složení gumové směsi protektorovaných plášťů. In: *Soudní inženýrství*, 16(2), Akademické nakladatelství CERM, Brno, 2005, s 97–102. ISSN 1211-443X
- [4] SICK, Online data sheet, Short range distance sensors (displacement) OD Value, OD2-P250W150U2, [online], [cit. 2014-03-03], dostupné z: <www.mysick.com>



Obr. 5 Vyhodnocená data pohybu karosérie vozidla Toyota Yaris při jeho brzdění.

Figure 5 Assessed data of moving vehicle body Toyota Yaris.